

# INTERAKTIVNA VIZUALIZACIJA MODELOV RELIEFA IN ORTOFOTA

prof. Lionel Dorffner, izredni profesor \*

## Izvleček

*KLJUČNE BESEDE:*  
*interaktivno, digitalni*  
*model reliefa,*  
*vizualizacija, navidezna*  
*resničnost, animacija,*  
*VRML, SCOP*

Samo generiranje podatkov visoke kakovosti in natančnosti danes ne zadostuje več, da bi pridobili stranke in sponzorje. Najmanj enako pomembno je tudi primerno in prepričljivo predstavljanje podatkov. Posledica tega je, da so strokovnjaki razvili in vpeljali dodatni SCOP modul. Novo orodje, imenovano Animated Terrain Model ali animirani model reliefa, omogoča enostavno pripravo in izvažanje SCOP podatkov digitalnega modela reliefa in ortofoto mozaikov za interaktivno 3D vizualizacijo s pomočjo formata VRML. Ta je namenjen rabi v medmrežnih aplikacijah, saj je bil izdelan za obdelovanje smiselno majhnih količin podatkov. Razvoj animiranega modela reliefa je zato osredotočen na obdelavo in interaktivno vizualizacijo obsežnih podatkovnih nizov, ki se pogosto pojavljajo v aplikacijah, namenjenih digitalnemu modelu reliefa in ortofotu. Članek opisuje možnosti in omejitve formata VRML v zgoraj omenjenem kontekstu, in sicer s pomočjo satelitskih in letalskih posnetkov.

## 1. UVOD

Digitalni modeli reliefa in ortofoto izdelki so postali standardni izdelki fotogrametričnega izvedenja. Kakovost modela reliefa - in še bolj ortofota - je odvisna od metode primarnega zajema podatkov, kakor tudi od programske opreme za generiranje in shranjevanje podatkovne strukture reliefa.

Metode, ki jih lahko uporabimo za zajem podatkov, so naslednje [Gruen A., 1998]:

- digitalizacija kart (enostaven način; v rabi le občasno, če drugi viri podatkov niso na voljo - metoda je uporabna le, če karte že obstajajo),
- tahimetrija (geodetska metoda - izvedljiva le za manjša območja),
- letalski posnetki (tradicionalna metoda - najbolj preizkušena metoda, ki daje zanesljive rezultate),
- lasersko skeniranje (nova in obetajoča metoda, še posebej na področju izdelave modelov reliefa - metoda je hitra, čeprav še ni temeljito preizkušena),
- druge metode daljinskega zaznavanja (najbolj primerne za zajem velikih območij, kjer velika natančnost ni odločilnega pomena).

Med najpomembnejše oblike posameznih ponazoritev reliefa spadajo:

- pravokotna mreža (najenostavnejša predstavitev; pogosto je rezultat digitalnih modelov reliefa, generiranih avtomatično z digitalnimi fotogrametričnimi postajami - ne vsebuje nadaljnje strukturne informacije, le 2.5 D, možnost kompaktnega shranjevanja),
- nepravilna trikotna mreža (triangulacija vključuje vse izmerjene točke - lomnice in tvornice se vzdržujejo s shranjenimi podatki; mogoča je dejanska 3D predstavitev; veliko večja količina podatkov kot pri pravokotnih mrežah),
- hibridna struktura (pravokotna mreža z dodatnimi informacijami o lomnicah in tvornicah, mogoča je tudi kombinacija z območji nepravilne trikotne mreže) [Kraus K., Jansa J., Kager H., 1997].

Kakovost izračunanega ortofota je v precejšnji meri odvisna tudi od uporabljenega digitalnega modela reliefa. Ta bo s pravokotno mrežo zadostoval za pridobitev dobrih rezultatov, ki se nanašajo na ortofoto majhnih meril (en slikovni element je večji od 10 m v naravi). Pri ortofotu srednjih in velikih meril bi moral uporabljeni digitalni model reliefa vsebovati dodatne strukturne informacije. Če moramo generirati ortofoto z velikostjo slikovnega elementa, ki je manjša ali enaka 1 m, moramo pri tem upoštevati tudi stavbe.

197

## 2. VIZUALIZACIJA

Digitalni modeli reliefa in ortofoto izdelki imajo širok spekter uporabe in omogočajo proizvodnjo velikega števila različnih izdelkov (izolinij, prečnih prerezov, perspektivnih pogledov, presekov z drugimi podatki, izračunov prostornine). Rezultati se uporabljajo kot osnovne informacije za nadaljnjo analizo ali kot končni izrisi, ki se uporabljajo za vizualizacijo in predstavitev.



*Slika 1: Predstavitev izolinij, lomnic, tvornic in obrisov stavb z digitalnim modelom reliefa*

Glede na objektne podatke in nivo kompleksnosti ločimo različne ravni vizualizacije zgoraj naštetih izdelkov (mreža, senčenje, kartiranje teksture, integracija podatkov, kot so ceste, stavbe in tematski podatki). Vsi omenjeni proizvodi so lahko izredno kakovostne in natančne izdelave, torej primerni za različne vrste rabe.

Pomanjkljivost teh izdelkov je njihova nefleksibilnost. Senčen in teksturiran perspektivni pogled digitalnega modela reliefa je ponazorilno sredstvo, ki omogoča bolj realističen prikaz pokrajine in večjih območij, še vedno pa je to statična slika veliko kompleksnejšega modela. Za prikaz kompleksnosti modela moramo ustvariti veliko število različnih izrisov iz različnih zornih kotov.

V posameznih primerih, še posebej med pogovori s strankami in sponzorji, je enako pomembno na primeren in prepričljiv način predstaviti rezultate. Poskusite si zamisliti stranko, ki se z miško premika po digitalnem modelu reliefa, ga raziskuje in analizira v realnem času! V današnjem svetu, kjer se vse vrti in premika, se nam zdi samoumevno, da iščemo možnost, ki bi omogočila interaktivno in dinamično vizualizacijo ter animacijo digitalnega modela reliefa v realnem času.

Težave, ki se pri tem pojavljajo, niso povezane z osnovnimi algoritmi (računalniška grafika je dosegla visoko razvojno raven), pač pa se nanašajo na obdelovanje velikih podatkovnih nizov pod časovno omejenimi pogoji. Med pogoje, ki jih je potrebno izpolniti, da bi bila vizualizacija učinkovita, spadajo tudi *porazdeljeni navidezni svetovi*, *stopnja detajla in kompresija slike*.

Izraz *porazdeljeni navidezni svetovi* opisuje razdelitev digitalnega modela reliefa na različne dele, od katerih je vsak svoj manjši digitalni model reliefa. Naložiti je torej potrebno le vidni del reliefa (opredeljen s pomočjo pregledovalne piramide). Z uporabo tega koncepta se količina podatkov, istočasno shranjenih v spominu, v povprečju zmanjša tudi za približno 75 odstotkov.

Nadaljnje povečanje storilnosti dosežemo z uporabo *stopenj detajla*. »Stopnja detajla je mehanizem, ki se v računalniški grafiki uporablja za izboljšanje hitrosti risanja kompleksnih slik.« [Clark J.H., 1976]. Vsak objekt je večkrat shranjen, in sicer v različni kakovosti (stopnji detajla). Med vizualizacijo je vsak objekt narisano tako, da je stopnja detajla optimalna. Izbrana stopnja je odvisna od velikosti objekta v trenutnem pogledu. Objekti, ki so majhni, so lahko narisani z majhnim številom detajlov (in zato tudi zelo hitro). Kakovost narisane objekta se zaradi tega ne bo poslabšala. Ravno nasprotno je z objekti, ki so blizu opazovalne točke, ki pokriva obsežen prostor na zaslonu. Omenjeni objekti morajo biti izrisani z najvišjo stopnjo detajla [Kofler M.,

**Rehatschek H., Gruber M., 1996**]. Čeprav se skupna količina podatkov poveča s shranjevanjem različnih stopenj detajla v piramidni strukturi, se med interaktivno vizualizacijo zahtevana količina računalniškega spomina izrazito zmanjša.

Kompresija slike je zadnji izmed načinov za zmanjševanje količine podatkov, ki bo opisan v tem članku. Med vizualizacijo digitalnega modela reliefa z ortofotom kot teksturnim virom je potrebno uporabiti več kot 99 odstotkov podatkov, da bi brez stiskanja podatkov shranili teksturo fotografije. Preizkusi so pokazali, da potratne tehnike stiskanja podatkov, kot so na primer datoteke JPEG, stisnejo originalne teksturne datoteke na 5 odstotkov originalne velikosti, ne da bi pri tem prišlo do resnejšega poslabšanja kakovosti podatkov.

Čeprav podatki o teksturi med vizualizacijo niso stisnjeni, jih lahko shranimo v majhne datoteke, s čimer omogočimo hitro nalaganje s trdega diska. Dekompresija podatkov v spominu je veliko hitrejša od branja z diska. Izguba podatkov in zmanjšanje natančnosti, ki iz tega sledita, sta sprejemljiva, saj se slike uporabljajo predvsem za vizualizacijo in animacijo.

### 3. IZVEDBA

Pred več kot 25 leti smo na našem inštitutu na Dunaju (Inštitut za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje [<http://www.ipf.tuwien.ac.at>]) v tesnem sodelovanju z INPHO GmbH iz Stuttgarta v Nemčiji [<http://www.inpho.de/scop.htm>] razvili modularen programski sistem (SCOP) za generiranje in vzdrževanje visoko kakovostnih podatkov o digitalnem modelu reliefa s hibridno podatkovno strukturo. Funkcionalnost SCOP-a smo ves čas nadgrajevali in izboljševali.

Digitalni model reliefa je v SCOP integriran kot centralna baza podatkov in z uporabo dodatnih modulov na fleksibilen način omogoča izdelavo številnih proizvodov, ki so neposredno povezani z digitalnim modelom reliefa. Med pomembnejše spadajo naslednji moduli:

- **ISOLINES** (izpeljuje izolinije iz katerekoli digitalne površine, opisane v podatkovni strukturi SCOP-a; mednje sodijo modeli, ki prikazujejo nadmorsko višino, nagib terena in drugo),
- **DOP** (generiranje digitalnega ortofota na osnovi visokokakovostne podatkovne strukture digitalnega modela reliefa),
- **PERSPECT** (izdeluje statične 3D poglede digitalnega modela reliefa v obliki perspektivnega prikaza ali paralelne projekcije),

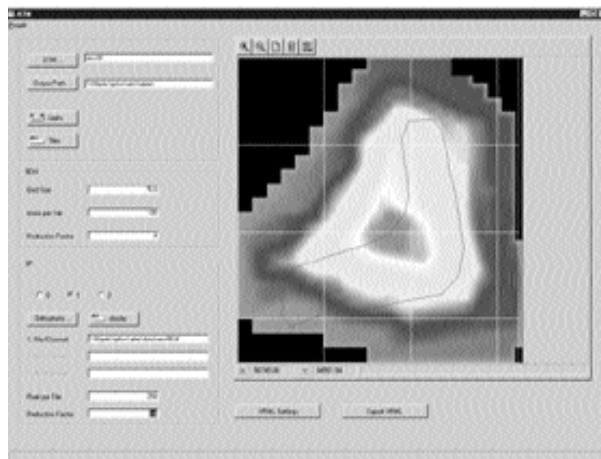
- **PROFILE** (interpolira posamezne višine in višinske profile - vzdolžne, vzporedne, presečne - za katerikoli poligon v območju digitalnega modela reliefa),
- **TDM** (vodenje in arhiviranje ogromnih količin podatkov o reliefu s pomočjo relacijske baze podatkov z učinkovitim geometričnim iskalnikom).

Razvoj in izdelava dodatnega SCOP modula je posledica povečanega povpraševanja po interaktivni vizualizaciji podatkov. Novo orodje, imenovano Animated Terrain Model (ATM), omogoča enostavno pripravo in izvažanje SCOP podatkov o digitalnem modelu reliefa za interaktivno 3D vizualizacijo.

Če ortofoto ali ortofoto mozaik pokriva izvoženo območje, pa čeprav le delno, lahko podatke o sliki kartiramo kot informacije o teksturi preko animiranega modela reliefa. Območja brez podatkov o teksturi so prikazana s sivinskim senčenjem. Poleg že omenjenega ATM omogoča tudi grafično izvedbo vnaprejšnje opredelitve razglednih točk in celotne poti kamere na samodejnem poletu skozi model.

200

*Slika 2: Uporabniški vmesnik animiranega modela reliefa, ki kaže kodiran digitalni model reliefa in opredeljeno pot poleta*



Podatke nato izvozimo z uporabo podatkovnega formata VRML97. VRML je kratica za "Virtual Reality Modeling Language", kar v prevodu pomeni »jezik za oblikovanje navidezne resničnosti«. VRML je datotečni format, ki ustreza mednarodnemu standardu ISO/IEC 14772 in se uporablja za opisovanje 3D

svetov in objektov na internetu [ Carrey R., Bell G., 1997 ], dejansko pa gre za 3D HTML inačico. To pomeni, da VRML uporabljamo kot enostaven jezik za izdelavo 3D spletnih strani, in sicer v različnih operacijskih sistemih.

Vizualizacija takšnih podatkov zahteva uporabo VRML pregledovalnika. Pregledovalnik je lahko samostojen program ali pa vgrajen programski dodatek spletnega brskalnika. Na tržišču je veliko takšnih pregledovalnikov (CosmoPlayer<sup>TM</sup>, CASUSPresenter<sup>TM</sup>, VRwave<sup>TM</sup>, WorldView<sup>TM</sup>), ki delujejo na vseh znanih operacijskih sistemih, večina pregledovalnikov pa je dostopna zastonj, oziroma spada med freeware [the vrmf repository], kar pomeni, da končni uporabnik ne bo imel dodatnih stroškov zaradi nakupa programske opreme. VRML svet uporabnikom omogoča, da podatke pregledujejo in vizualizirajo na interaktivni način.

Ker se ta podatkovni format uporablja na internetu, je v osnovi namenjen obdelavi manjših količin podatkov. Zaradi tega je bila posebna pozornost namenjena upravljanju z velikimi podatkovnimi nizi, ki jih je potrebno obdelati, če digitalne modele reliefa ali ortofota pregledujemo in vizualiziramo interaktivno. Za doseg tega cilja so bili pri animiranem modelu reliefa izpolnjeni vsi zgoraj omenjeni pogoji za uspešno izvedbo vizualizacije.

---

201

Celoten digitalni model reliefa je razdeljen na slikovna območja, ki so shranjena z različnimi stopnjami detajla. Slikovna piramida ortofota je prav tako razdeljena z uporabo enakih meja slikovnih območij. Število mrežnih točk in slikovnih elementov v enem slikovnem območju ter stopnjo zmanjšanja števila podatkov za stopnjo detajla lahko nastavi uporabnik, odvisno od sistema, ki se uporablja za končno vizualizacijo. Za potrebe vizualizacije ustvarimo datoteko, ki nadzira prostorsko natančno nalaganje in risanje različnih slikovnih območij ob upoštevanju optimalne stopnje detajla.

#### 4. PRIMER

Primer, ki je opisan v nadaljevanju, smo izvedli zato, da bi preizkusili uporabnost in omejitve jezika VRML pri obdelovanju velikih teksturiranih podatkovnih nizov na medmrežju. Preizkusno območje pokriva okoli 10.000 km<sup>2</sup> ozemlja, kjer ležijo najvišje avstrijske gore. Omenjeno ozemlje smo izbrali zato, ker zajema veliko višinsko razliko med najnižjo (Zell am See, 740 m) in najvišjo točko (Grossglockner, 3400 m). Izračunavanje vidljivosti med navigacijo nad takšnim reliefom je veliko zahtevnejše kot pa med navigacijo nad bolj ravnimi predeli.

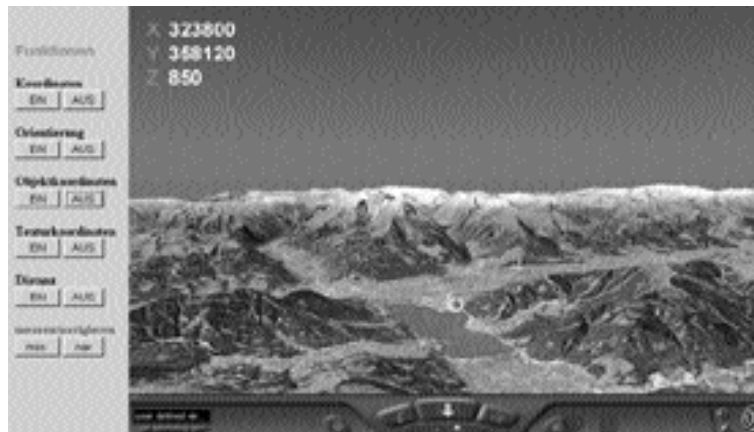
Digitalni model reliefa smo izvozili s pomočjo 250-metrške mreže. Za teksturiranje smo uporabili geolociran Landsat TM posnetek z ločljivostjo 25 m. Pri interaktivni vizualizaciji smo uporabljali računalnik s standardno konfiguracijo (350 MHz, 64 MB RAM, enostavna grafična kartica s 3D pospeševalnikom), ki jo poganja operacijski sistem Windows NT. Stabilnost računalniškega sistema in upoštevanje standarda VRML97 sta dosegla najvišjo raven, ko smo uporabljali brezplačni VRML pregledovalnik CosmoPlayerTM, ki spada med programske dodatke (plug-in) za Netscapov internetni brskalnik.

VRML predstavitev modela reliefa podpira le pravokotno mrežo. Za ohranitev vseh strukturnih informacij bi lahko uporabili tudi predstavitev z nepravilno trikotno mrežo, s tem pa bi uporaba teksturnih informacij z ortofota postala veliko bolj zapletena. Poleg tega je mrežna interpolacija zasnovana na hibridni podatkovni strukturi, ki je uporabljena v SCOP-u. Posledica tega je, da je kakovost izvožene višinske mreže višja od tiste, ki bi jo dosegli z zasnovo na enostavni pravokotni mreži, ki je nastala iz izvernih podatkov brez upoštevanja lomnic.

Glavna pomanjkljivost jezika VRML pri interaktivni vizualizaciji je ta, da za večja področja ne moremo uporabiti najvišje ločljivosti visoko kakovostnega digitalnega modela reliefa. Zaradi tega takšne vrste predstavitve ne moremo priporočiti kot zamenjavo za izrise visoke natančnosti, so pa izredna možnost za dopolnitev in razširitev palete fotogrametričnih izdelkov.

Prednost jezika VRML je enostavnost navezovanja dodatnih podatkov (vektorskih, tematskih, itn.), poleg geometrije in teksture, na model VRML, z animacijo pa lahko na jasn način prikažemo kompleksne prostorske in tematske prikaze.

Slika 3: Interaktivna vizualizacija z uporabo VRML in merjenja koordinat z uporabo vmesnika EAI



Poleg interaktivne vizualizacije so bila dodana tudi meritvena orodja (koordinate, orientacije, razdalje, itn.) [Zeisler Ph., 1999]. Za to je bil uporabljen uporabniški vmesnik EAI (External Authoring Interface) oziroma zunanji authoring vmesnik [External Authoring Interface Working Group].

Vmesnik omogoča programerjem, da vzpostavijo povezavo med spletno stranjo in umeščnim oknom brskalnika VRML. S tem je omogočeno upravljanje z VRML sliko na spletni strani glede na zahteve uporabnika. Ob uporabi omenjene možnosti interaktivnost ni več omejena le na VRML slike, pač pa deluje tudi v povezavi z zunanjimi sistemi. Na ta način VRML model lahko postane jedro interaktivnega prostorskega informacijskega sistema (Dorffner L., Forkert G., 1998).

## 5. SKLEPNE UGOTOVITVE

Izkušnje kažejo, da bo pomembnost interaktivnih navideznih svetov v prihodnosti izrazito narasla. To dejstvo je spodbudilo razvoj dodatnega SCOP modula ATM oz. animiranega modela reliefa. Omenjeno orodje omogoča enostavno izvažanje modela reliefa in ortofota za potrebe interaktivne 3D vizualizacije ob uporabi podatkovnega formata VRML.

Določanje uporabniško opredeljenih razglednih točk in poti kamere za samodejno animacijo omogoča, da so predstavitve podatkov o reliefu zelo prepričljive tudi za tiste, ki niso strokovnjaki na področju VRML. Če izrabimo prednosti razpošiljanja VRML svetov po medmrežju, postanejo modeli reliefa z nizko ločljivostjo dostopni tudi širši javnosti brez dodatnih stroškov za nakup pregledovalnikov.

VRML za interaktivno vizualizacijo lahko uporabimo za navezovanje tako geometrije in teksture kakor tudi dodatnih informacij na trirazsežni fotografski model, zapletene prostorske in tematske prikaze pa lahko predstavimo na jasen način.

EAI vmesnik omogoča tesno povezavo med spletnimi stranmi in VRML slikami. Tako uporabnikom postanejo zunanje podatkovne baze dostopne znotraj VRML slik.



### **Literatura:**

#### **Strokovni časopisi:**

**Dorffner L., Forkert G.**, 1998. "Generation and visualization of 3D photo-models using hybrid block adjustment with assumptions on the object shape". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53 No. 6, pp. 369-378.

#### **Strokovne knjige:**

**Carey R., Bell G.**, 1997. "The Annotated VRML 2.0 Reference Manual", Addison-Wesley Developers Press, ISBN 0-201-41974-2. online version: "The Annotated VRML97 Reference Manual", <http://www.wasabisoft.com/Book/>.

**Kraus K., Jansa J., Kager H.**, 1997. "Photogrammetry, Volume 2". Ferd. Dummlers Verlag, ISBN 3-427-78694-3.

#### **Drugi viri:**

**Clark J.H.**, 1976. "Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithm". In *Communications of the ACM* 19, 10, pp. 247-254.

**Gruen A.**, 1998. "DTM Generation and Visualization". *Symposium on Digital Photogrammetry*, Istanbul, Turkey

**Kofler M., Rehatschek H., Gruber M.**, 1996. "A Database for a 3D GIS for Urban Environments Supporting Photo-Realistic Visualization". In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna, Austria, Vol. XXXI Part B2, pp. 198-202.

**Zeisler Ph.**, 1999. "Nutzung von VRML für Informationssysteme basierend auf 3D-Photomodellen", *Diploma thesis at the Vienna University of Technology*, Vienna, 1999.

**The VRML Repository**, <http://www.web3d.org/vrml/vrml.htm>.

**External Authoring Interface Working Group**, <http://www.vrml.org/WorkingGroups/vrml-eai/>

---

*Recenzija: Redakcijski odbor simpozija ISPRS v Ljubljani, februar 2000*

---

*Prispelo v objavo: 2000-05-11*